



**Europäisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02425725.5

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:
Application no.: 02425725.5
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 28.11.02
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

STMicroelectronics S.r.l.
Via C. Olivetti, 2
20041 Agrate Brianza (Milano)
ITALIE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

method for detecting the angular position of a rotor in a brushless electric motor

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

H02P/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR

Titolo: Metodo per rilevare la posizione angolare di un rotore in un motore elettrico tipo brushless.

DESCRIZIONE

Campo di applicazione

- 5 La presente invenzione fa riferimento ad un metodo per rilevare la posizione angolare di un rotore in un motore elettrico tipo brushless, del tipo in cui è prevista l'emissione di un segnale di polarità del forza contro elettromotrice (Bemf) da parte di una circuiteria di rilevamento associata al motore.
- 10 Più in particolare, il metodo è rivolto a migliorare la rilevazione della posizione istantanea del rotore in un motore di tipo brushless tramite la rilevazione del segnale "attraversamento dello zero", noto come "zero-crossing", della forza contro elettromotrice (Bemf) prodotta dal motore stesso.
- 15 Questo metodo è utilizzabile in tutte le applicazioni che impieghino questo tipo di motore: per esempio Floppy e Hard Disk drive, DVD, CD e Tape drive.

Arte nota

- 20 Com'è ben noto in questo specifico campo di applicazione, è prassi comune fare riferimento al segnale Bemf, ed allo "zero crossing" o "ZC", per il pilotaggio dei motori tipo brushless.

- Un esempio di questa metodologia è descritto nel brevetto US No. 5,969,491 della stessa Richiedente in cui gli avvolgimenti del motore sono posti in condizione di alta impedenza per un breve periodo di tempo in
 25 prossimità dell'evento ZC da rilevare.

Il segnale che si ottiene viene usato come riferimento per la misura della posizione e della velocità del rotore.

- Il punto debole di una simile implementazione è dato dal fatto che un tale segnale può essere affetto da sorgenti di rumore elettrico dovuto sia a
 30 porzioni circuitali sincrone col sistema di pilotaggio del motore, le quali sono generalmente più semplici da mascherare, sia a porzioni circuitali asincrone, più difficili da debellare.

Alcune soluzioni analogiche proposte dalla tecnica nota prevedono l'inserimento di un filtro passa basso in ingresso al circuito di rilevazione del segnale ZC, ad esempio come mostrato in figura 1 con riferimento al circuito "Bemf comparator" a cui si deve intendere associato un blocco di
 5 filtraggio.

Il problema tecnico che sta alla base della presente invenzione consiste nell'escogitare un nuovo metodo, per rilevare la posizione angolare di un rotore in un motore elettrico tipo brushless, avente caratteristiche tali da consentire una corretta individuazione del segnale ZC della forza contro
 10 elettromotrice Bemf, evitando l'impiego di filtri analogici, e migliorando i costi e le prestazioni del motore rispetto alle soluzioni di tipo noto.

Sommario dell'invenzione

L'idea di soluzione alla base dell'invenzione è quella analizzare il segnale digitale prodotto dall'uscita della circuiteria di Bemf comparator e filtrare
 15 tale segnale digitale, comprendente un singolo bit, tramite un algoritmo digitale di semplice implementazione in modo da risolvere il problema nella maniera più economica possibile.

Sulla base di tale idea di soluzione, il problema tecnico è risolto da un metodo del tipo precedentemente indicato e definito dalla parte
 20 caratterizzante della rivendicazione 1 qui allegata.

Le caratteristiche ed i vantaggi del metodo secondo l'invenzione risulteranno dalla descrizione, fatta qui di seguito, di un esempio di realizzazione dato a titolo indicativo e non limitativo con riferimento ai disegni allegati.

Breve descrizione dei disegni

- la figura 1 mostra una vista schematica di uno dispositivo di rilevazione del segnale di ZC in un motore di tipo brushless secondo l'arte nota;
- le figure 2A e 2B mostrano rispettive viste schematiche di due possibili
 30 esempi di implementazione del metodo secondo l'invenzione in un'applicazione di classico pilotaggio 6-stati ed in un'applicazione di un pilotaggio tipo sinusoidale;

- le figure 3A, 3B e 3C mostrano rispettive viste schematiche dell'applicazione del metodo secondo l'invenzione al caso di velocità costante del motore: in assenza di rumore, in presenza di rumore bianco e in presenza di rumore di tipo "burst";
- 5 - le figure 4A, 4B e 4C mostrano rispettive viste schematiche dell'applicazione del metodo secondo l'invenzione al caso di accelerazione del motore: in assenza di rumore, in presenza di rumore bianco e in presenza di rumore di tipo "burst";
- la figura 5 mostra su un diagramma un esempio di funzionamento della EQ2 nel caso di gradino di velocità (decelerazione);
- 10 - la figura 6 mostra su un diagramma un esempio di funzionamento della EQ3 nel caso di gradino di velocità (decelerazione);
- la figura 7 mostra su un diagramma un esempio di risposta ad un gradino di velocità di due possibili coppie di parametri K1 e K2 aventi i
- 15 seguenti rapporti: [2, 1] e [0.5, 0.25];
- la figura 8 mostra su un diagramma una possibile estensione dei principi della presente invenzione ad un caso di periodiche disabilitazioni del contatore durante la fase di conteggio.

Descrizione dettagliata

20 Come mostrato in figura 1, all'uscita del circuito Bemf comparator viene prodotto un segnale digitale che indica se la Bemf è superiore od inferiore ad un segnale di riferimento. Generalmente, nei motori con configurazione a stella il riferimento usato è il centro stella o "Center Tap".

25 In un classico motore Brushless a tre avvolgimenti una informazione di ZC avviene periodicamente ogni 60 gradi elettrici: ovviamente, a seconda della strategia di pilotaggio, non è necessario "ascoltare" tutti gli ZC ma si può rilevare tale occorrenza in periodi di tempo che ne siano multipli (120 gradi, 180, 240 e così via).

30 Lo stesso ragionamento si può estendere a motori che presentino un numero diverso di avvolgimenti. In prossimità dello ZC atteso si pone generalmente in alta impedenza l'avvolgimento del motore in cui si intende rilevare tale sincronismo. Da quel punto, previa mascheratura temporale per dare modo alla corrente di decadere a zero, il Bemf comparator inizierà

a produrre un segnale significativo che, in assenza di rumore sulla linea, rivela in modo affidabile il momento di attraversamento (ZC) tramite il cambio di stato della sua uscita (passaggio da '1' a '0' o viceversa).

5 Se si cerca semplicemente l'informazione di ZC, si può riprendere a pilotare l'avvolgimento del motore non appena tale variazione di stato è stata rilevata. In questo caso, l'uscita del circuito di Bemf comparator non verrà più ascoltata sino a che non si arrivi in prossimità del prossimo ZC atteso.

10 Al contrario, in presenza di rumore tale attraversamento del riferimento da parte della Bemf non è univoco. Infatti, in prossimità di ogni ZC ci sono attraversamenti spuri che portano il Bemf comparator a fornire multiple transizioni '1'-'0' in corrispondenza di un singolo evento reale.

È proprio tale segnale che deve essere elaborato al fine di trarre la reale informazione di ZC.

15 Vantaggiosamente, secondo l'invenzione, è stato previsto un contatore digitale bidirezionale ad N bit, con N intero a piacere, in grado di contare ad incremento e decremento ("Up/Down counter") in funzione di un segnale che ne indichi la direzione di conteggio.

20 Tale contatore è inserito immediatamente a valle del circuito Bemf comparator.

A seconda delle necessità, si può decidere di rilevare una transizione da '0' ad '1', per esempio incrementando il contatore in presenza di un valore '0' come uscita del Bemf comparator e decrementando in presenza di uno stato '1'.

25 Dopo un certo periodo di tempo il contatore avrà raggiunto un valore proporzionale al numero di '0' ed '1' contati; in base a tale valore è possibile elaborare il segnale e trarne l'informazione desiderata.

30 E' possibile inoltre ottenere dal contatore un'informazione molto rigorosa facendo in modo che il periodo di conteggio sia simmetrico ("symmetrical window") intorno allo ZC previsto ("expected Bemf ZC"), la cui previsione può essere effettuata in base ad un qualsiasi metodo dell'arte nota.

Come illustrato nella figura 2, il metodo secondo l'invenzione può essere per esempio applicato al classico pilotaggio 6-stati, figura 2A, ed al pilotaggio di tipo sinusoidale, figura 2B.

Inoltre, durante l'attuazione del metodo possiamo trovarci di fronte a vari casi tra cui:

1. Motore a velocità costante.

• in assenza di rumore, alla fine del periodo il contatore assumerà valore zero. Infatti lo ZC si presenterà realmente dove atteso, vale a dire a metà del periodo di conteggio, ed il contatore avrà così contato tanto in su quanto in giù, come mostrato in figura 3A.

• in presenza di rumore bianco sovrapposto alla Bemf, alla fine del periodo il contatore assumerà valore zero. Infatti lo ZC si presenterà realmente dove atteso, sempre a metà del periodo di conteggio, ed il rumore avrà influenzato il Bemf comparator in maniera mediamente nulla, tanto prima quanto dopo lo ZC effettivo, come mostrato in figura 3B.

• in presenza di rumore periodico di tipo "burst", alla fine del periodo il contatore assumerà un valore proporzionale a tale disturbo. Se il disturbo si presenterà prima dello ZC atteso, il contatore verrà decrementato maggiormente di quanto sia stato incrementato, o viceversa se il rumore si presenterà dopo lo ZC atteso. Ovviamente se vi fosse disturbo sia prima che dopo, il contatore arriverà ad un valore proporzionale alla differenza di durata dei disturbi rilevati prima e dopo il centro del periodo di conteggio, come mostrato in figura 3C.

2. Motore in accelerazione/decelerazione.

• in assenza di rumore, alla fine del periodo il contatore assumerà un valore proporzionale all'accelerazione/decelerazione, assumendo quindi un valore negativo o positivo. Infatti lo ZC reale si presenterà prima o dopo quello atteso e quindi il contatore conterà più in decremento/incremento rispetto a incremento/decremento, come illustrato in figura 4A.

• in presenza di rumore bianco sulla Bemf, alla fine del periodo il contatore assumerà un valore proporzionale all'accelerazione/decelerazione, assumendo quindi un valore rispettivamente negativo o positivo. Infatti lo ZC reale si presenterà prima

o dopo quello atteso con sovrapposte multiple transizioni di stato con durata media nulla, come illustrato in figura 4B.

- in presenza di rumore periodico di tipo "burst", alla fine del periodo il contatore assumerà un valore proporzionale sia all'accelerazione/decelerazione che al disturbo, come in figura 4C.

In pratica il contatore misurerà un periodo temporale ed al termine del periodo in questione conterrà la differenza di tempo in cui al suo ingresso si sono presentati gli stati logici '0' e '1'. La base dei tempi sarà determinata dalla frequenza con cui verrà fatto funzionare il contatore e questo inciderà a sua volta sull'azione di filtraggio.

Il contatore così pilotato presenta un fattore di guadagno 2 causato dal fatto che uno stato inatteso farà contare nella direzione opposta, ma nello stesso tempo eviterà che il contatore conti nella direzione attesa, vale a dire "Up" prima del centro di simmetria e "Down" dopo tale punto.

- Se per esempio la finestra temporale durasse 100us ed il rotore accelerasse di 10us avremmo, in assenza di rumore, un conteggio "Up" per 40us e "Down" per i restanti 60us che risulterebbe in un valore finale del contatore pari a -20us.

E' da notare che la direzione del conteggio ('0' = incremento, '1' = decremento) è puramente arbitraria ed usata solamente a titolo di esempio: il ragionamento è riproducibile nel caso opposto ('0' = decremento, '1' = incremento) senza mutarne il significato.

Anche il fatto che nei disegni ci si riferisca solo al caso di ZC dato dalla transizione '0' -> '1' è puramente a titolo di esempio: ovviamente il sistema funziona con lo stesso principio in prossimità di uno ZC dato da una transizione '1' -> '0'.

Detto "Count" il valore che il contatore assumerà alla fine del conteggio possiamo definire:

$$\text{Delta} = \text{Count}/2 \quad (\text{EQ } 1)$$

dove Delta non è altro che il valore “filtrato” dell’informazione di posizione dello ZC reale rispetto quello atteso, in altre parole rispetto il centro della “finestra” temporale in cui il contatore è attivo.

Avremo quindi che il periodo trascorso dallo ZC precedente sarà dato da:

$$5 \quad \text{Period}(n) = \text{Period}(n-1) + \text{Delta} \quad (\text{EQ } 2)$$

dove:

- “Period(n-1)” è il risultato del calcolo effettuato al termine della finestra precedente,
- Delta è il calcolo effettuato al termine dell’ultima finestra in base ad EQ1; e,
- “Period(n)” è il periodo che ci separa dallo ZC precedente calcolato al termine dell’ultima finestra di conteggio.

A causa del fatto che in tal modo ci accorgeremmo di una variazione di velocità solo nel momento che un nuovo ZC viene rilevato, un simile calcolo comporterebbe l’accumularsi di un errore di fase. Se supponiamo infatti di essere in presenza di un gradino di velocità decrescente, il periodo passa da P1 ad un P2 più lungo e avremmo la situazione rappresentata in figura 5.

Durante la seconda finestra di rilevazione, lo ZC reale si presenta in ritardo rispetto all’atteso generando una correzione Delta(1) pari a P2-P1: quindi il sistema computa correttamente la nuova velocità ma questa variazione viene introdotta con il ritardo di uno ZC rispetto alla variazione reale risultando così in un errore di fase (pari a Delta(1)).

A causa di questo offset nella successiva finestra di conteggio verrà rilevato Delta(2) non nullo (pari a Delta(1)) e si innescherà un’oscillazione intorno alla velocità reale.

Per ovviare a tale fenomeno si può correggere il periodo come segue:

$$\text{Period}(n) = \text{Period}(n-1) + 2\text{Delta} - \text{Delta}(n-1) \quad (\text{EQ } 3)$$

Il nuovo periodo si ottiene quindi considerando il doppio del Delta appena computato. In questo modo si recupera l’errore di fase ma si introdurrebbe un errore effettivo di velocità se non fosse corretto dalla sottrazione del Delta calcolato al passo precedente (Delta(n-1)).

I segni della precedente equazione sono semplicemente dovuti alla convenzione che in presenza di uno '0' in ingresso il contatore viene incrementato e che ad un '1' corrisponda un decremento. Devono essere ovviamente studiati in base all'effettiva convenzione assunta nella pratica:
 5 ciò non lede la generalità della presente trattazione e il caso non viene trattato in quanto banale estensione degli esempi considerati.

Nella figura 6 è illustrata la risposta al gradino di quest'ultimo approccio; ne risulta un recupero quasi istantaneo della variazione di velocità del motore ed una corretta relazione di fase.

10 Una volta a regime, una simile reazione veloce potrebbe intensificare l'impatto di eventuali disturbi sulla linea di Bemf. Tale situazione viene ridotta se si sceglie di adottare una formula del tipo seguente:

$$\text{Period}(n) = \text{Period}(n-1) + K1 * \Delta - K2 * \Delta(n-1) \quad (\text{EQ } 4)$$

dove K1 e K2 sono generici parametri il cui valore può essere stabilito in
 15 base alle esigenze di filtraggio che potrebbero cambiare anche durante le varie fasi di pilotaggio: si potrebbe per esempio adoperare la coppia di valori [2, 1] durante la fase di accelerazione del motore e la coppia di valori [0.5, 0.25] una volta giunti alla velocità di regime.

La figura 7 rappresenta la risposta al gradino di tali due coppie di valori
 20 per [K1, K2].

Il principio di funzionamento del sistema non viene alterato se ad esso vengono combinati altri tipi di filtraggio.

Per esempio si può periodicamente mascherare, e quindi inibire il conteggio, anche all'interno della zona di conteggio per mascherare la
 25 presenza di rumore noto.

Per impattare il meno possibile sul corretto funzionamento del filtraggio consentito dal sistema di conteggio "Up/Down", tali zone di inibizione del conteggio dovrebbero avvenire il più possibile in modo speculare rispetto il centro di simmetria (ZC atteso).

30 Dovrebbero inoltre essere il più possibile di pari durata considerando le coppie di inibizioni speculari rispetto il centro di simmetria della finestra di conteggio. Un possibile impiego di tale approccio è rappresentato in figura 8.

Vale la pena di notare che tutti i metodi sin qui descritti che costituiscono una possibile implementazione dell'idea oggetto dell'invenzione, possono essere arbitrariamente alternati ad un qualsiasi metodo dell'arte nota.

5 Si potrebbe per esempio iniziare con rilevare gli ZC con un metodo dell'arte nota sino ad una certa velocità di rotazione del motore e solo in seguito passare all'attuazione del presente metodo.

In pratica il nuovo metodo non vincola in alcun modo la libertà del sistema nella rilevazione degli ZC. Ad ogni ZC si può decidere se agire secondo un metodo dell'arte nota od adottare quello qui descritto.

10 L'implementazione delle equazioni EQ3 ed EQ4 prevedono il conoscere il valore di alcuni parametri determinati allo ZC precedente. Tali valori devono essere noti anche nel momento in cui si attiva il metodo. Poiché non vi sono ZC precedenti su cui basarci si devono stabilire dei valori opportuni.

15 Nel caso di "Delta(n-1)" si potrebbe assegnare il valore nullo mentre per il periodo precedente "Period(n-1)" ci si potrebbe rifare ad una stima della velocità del rotore oppure tale valore può venire direttamente da una precedente applicazione di un metodo dell'arte nota: nel momento in cui si attiva il nuovo filtraggio in esame, si conosce già il periodo tra due ZC
20 consecutivi se il rotore stava girando e la rilevazione degli ZC era demandata ad un metodo dell'arte nota.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo per rilevare la posizione angolare di un rotore in un motore elettrico tipo brushless, del tipo in cui è prevista l'emissione di un segnale di polarità del forza contro elettromotrice (Bemf) da parte di una circuiteria di rilevamento associata al motore, caratterizzato dal fatto di prevedere
5 l'impiego di un contatore bidirezionale per contare la differenza di tempo di permanenza degli stati logici '0' e '1' all'uscita di detta circuiteria di rilevamento.
2. Metodo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto
10 contatore è un contatore digitale Up/Down ed è abilitato in un intorno dello "zero-crossing" (ZC) atteso di detta forza contro elettromotrice (Bemf) con una finestra temporale di durata arbitraria.
3. Metodo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detta
15 finestra temporale di durata arbitraria è simmetrica rispetto allo "zero-crossing" ZC atteso.
4. Metodo secondo la rivendicazione 2 o 3, caratterizzato dal fatto che la durata della finestra temporale varia in modo arbitrario durante il pilotaggio del motore.
5. Metodo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che
20 l'azzeramento del contatore avviene all'inizio di ogni finestra di conteggio o comunque in un istante arbitrario prima di tale intervallo.
6. Metodo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'incremento o decremento del contatore avviene in concomitanza con il ricevimento in ingresso di uno stato logico '0', mentre il decremento o
25 incremento avviene in concomitanza con il ricevimento in ingresso di uno stato logico '1' in detta la finestra di conteggio.
7. Metodo secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che la frequenza di conteggio del contatore può variare durante le varie fasi di pilotaggio del motore.
- 30 8. Metodo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il valore assunto dal contatore al termine di ogni periodo di conteggio è utilizzato in formule per stimare la posizione istantanea del rotore, il periodo tra due "zero-crossing" ZC, nonché la velocità di rotazione.

9. Metodo secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che un algoritmo che computi il periodo tra due "zero-crossing" ZC successivi operi secondo la seguente relazione:

$$\text{Period}(n) = \text{Period}(n-1) + K1 * \Delta - K2 * \Delta(n-1) \quad (\text{EQ } 4)$$

5 dove:

- "Period(n-1)" è il risultato del calcolo effettuato al termine della finestra precedente,
- Δ è il calcolo effettuato al termine dell'ultima finestra ed è il valore "filtrato" dell'informazione di posizione dello ZC reale rispetto quello atteso in base; e,
- 10 - "Period(n)" è il periodo che ci separa dallo ZC precedente calcolato al termine dell'ultima finestra di conteggio; e
- K1 e K2 sono generici parametri il cui valore può essere stabilito in base alle esigenze di filtraggio.

15 10. Metodo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che il valore dei parametri viene modificato arbitrariamente durante le varie fasi di pilotaggio del motore.

11. Metodo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che il contatore è periodicamente disabilitato dal contare anche all'interno della
20 finestra temporale dedicata al conteggio.

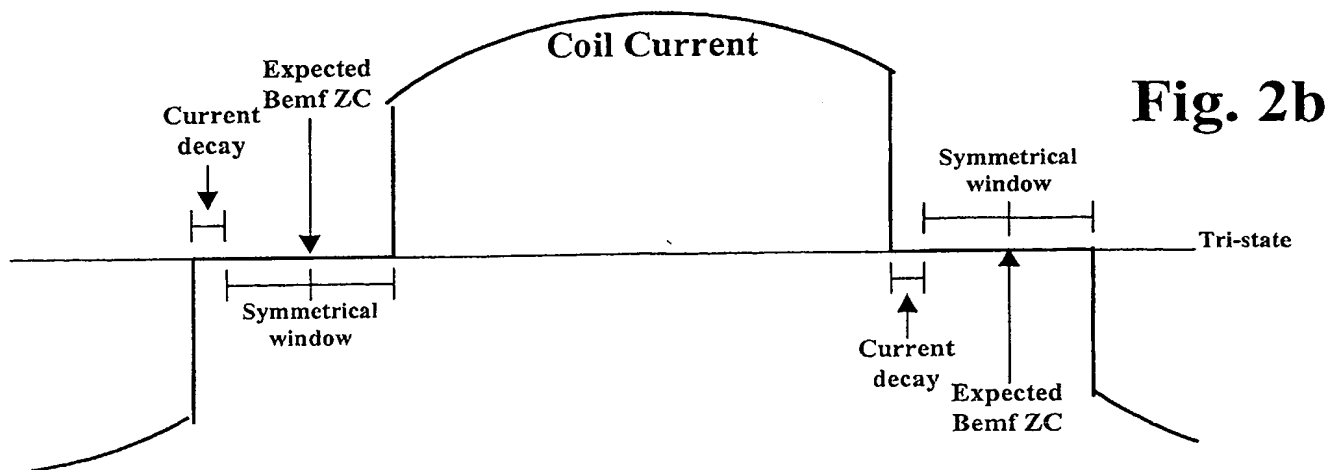
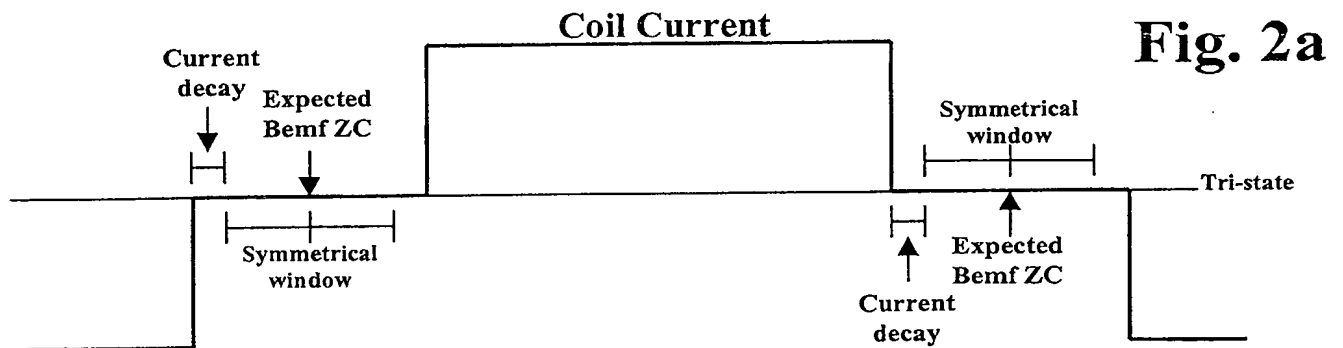
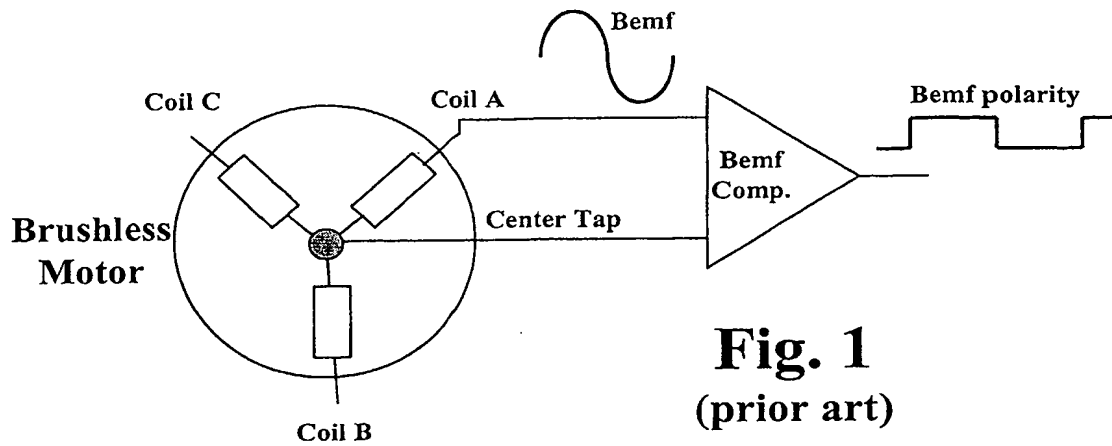
12. Metodo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che l'algoritmo di filtraggio è arbitrariamente alternato ad un qualsiasi metodo dell'arte nota per la rilevazione della posizione del rotore.

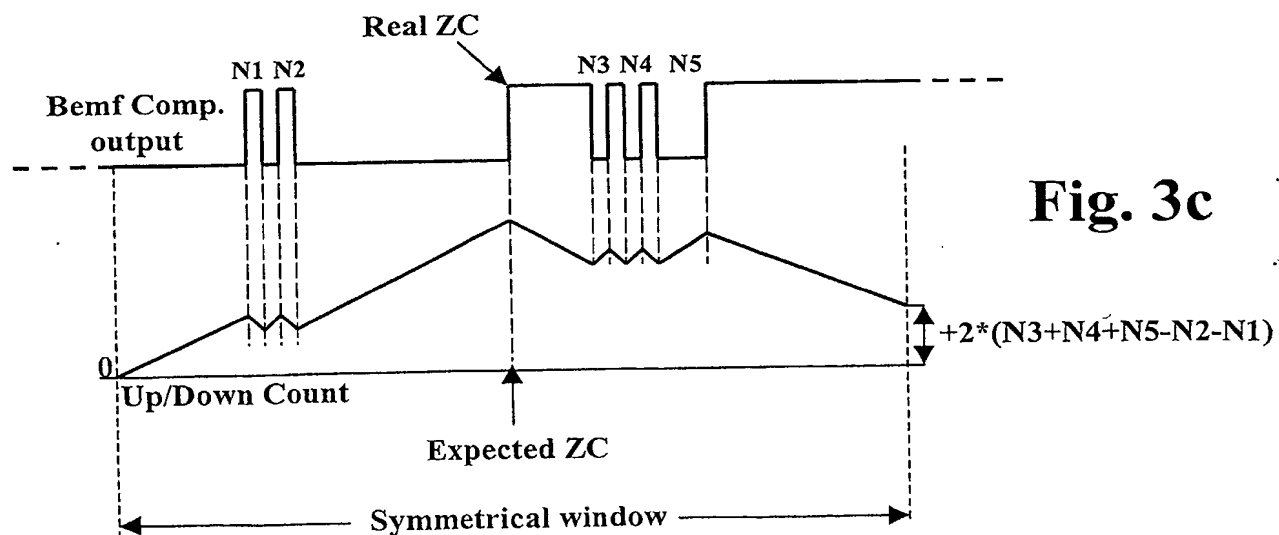
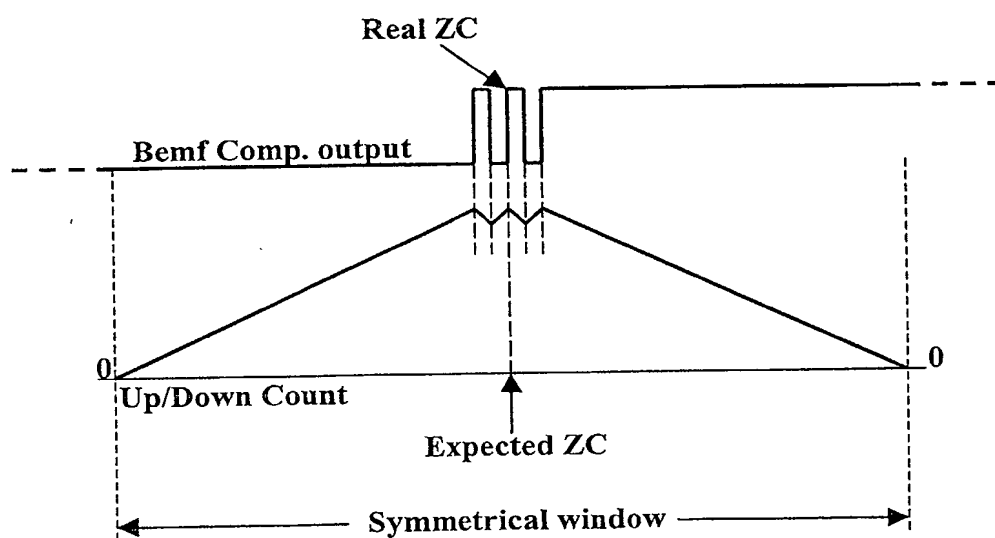
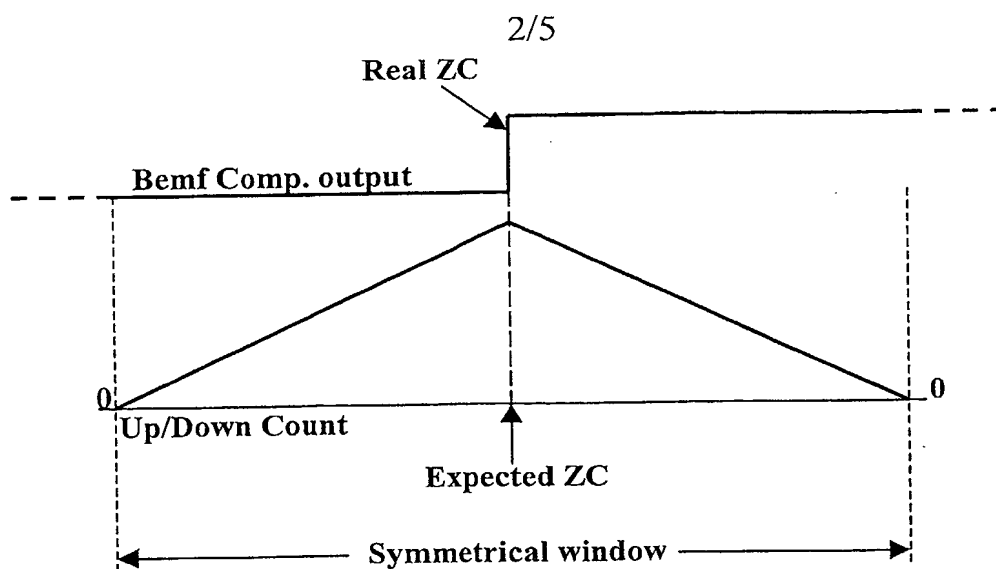
RIASSUNTO

La presente invenzione riguarda un metodo per rilevare la posizione angolare di un rotore in un motore elettrico tipo brushless, del tipo in cui è prevista l'emissione di un segnale di polarità del forza contro
5 elettromotrice (Bemf) prodotta dal motore da parte di una circuiteria di rilevamento associata al motore. Il metodo prevede l'impiego di un contatore bidirezionale per contare la differenza di tempo di permanenza degli stati logici '0' e '1' all'uscita della circuiteria di rilevamento.

Il metodo è rivolto a migliorare la rilevazione della posizione istantanea del
10 rotore in un motore di tipo brushless tramite la rilevazione del segnale "attraversamento dello zero", noto come "zero-crossing".

15 (Fig. 2A)





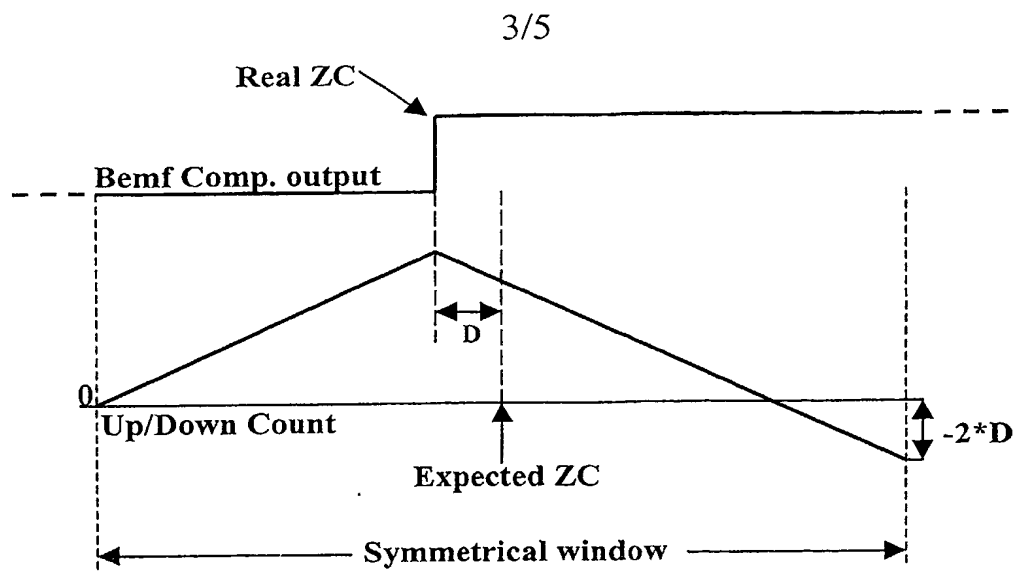


Fig. 4a

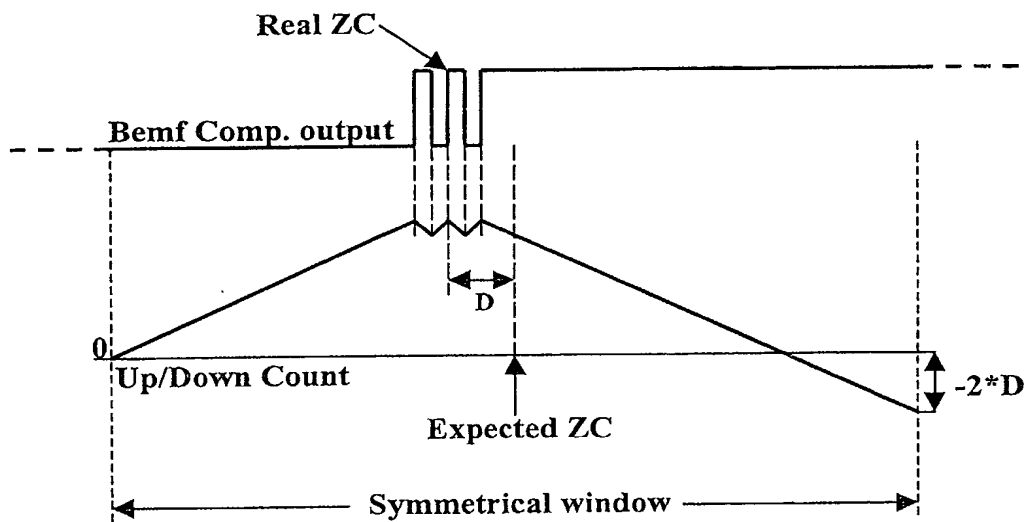


Fig. 4b

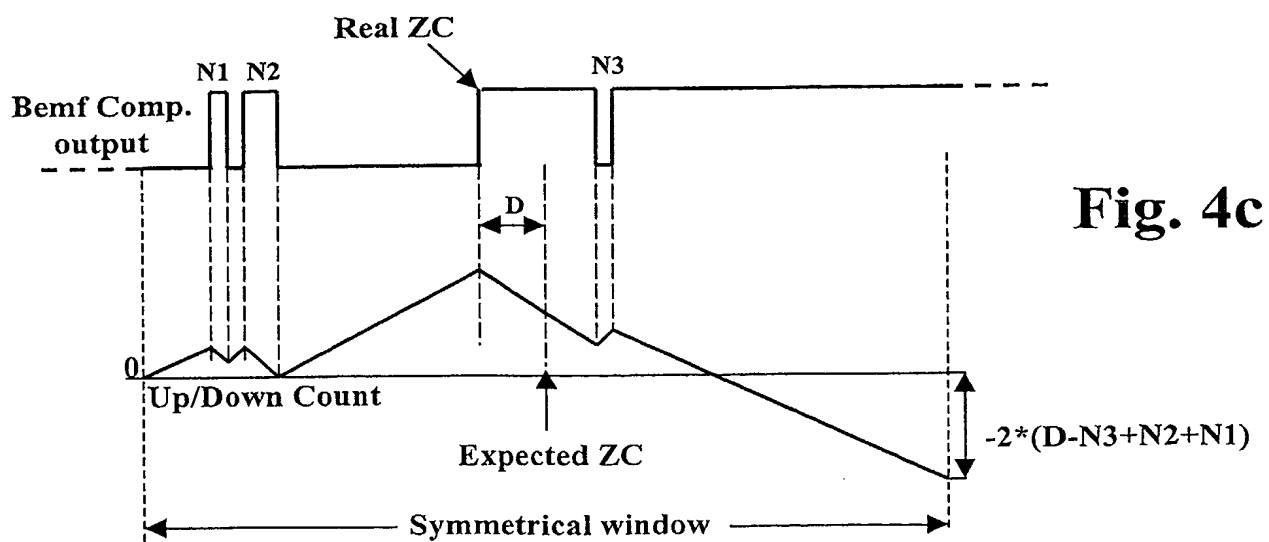


Fig. 4c

Fig. 5

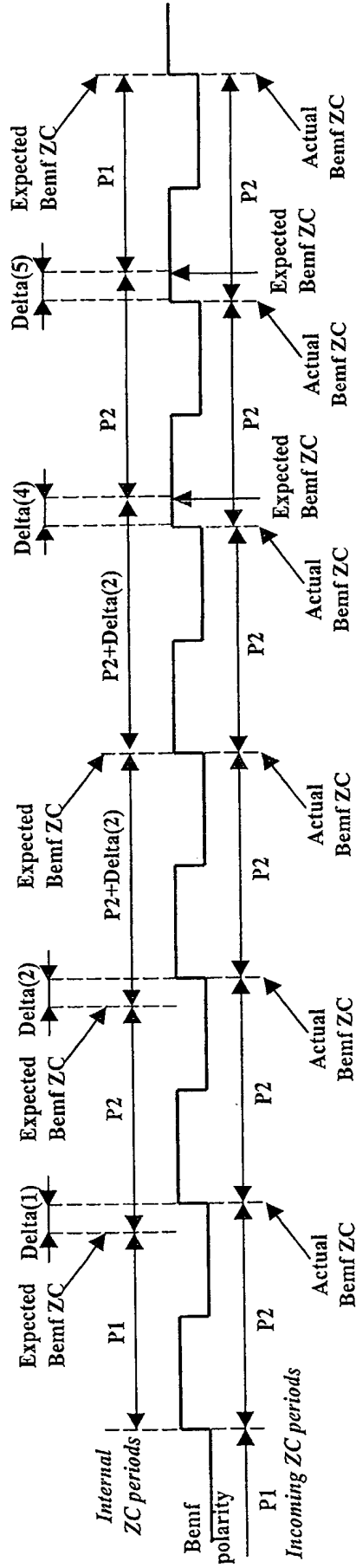
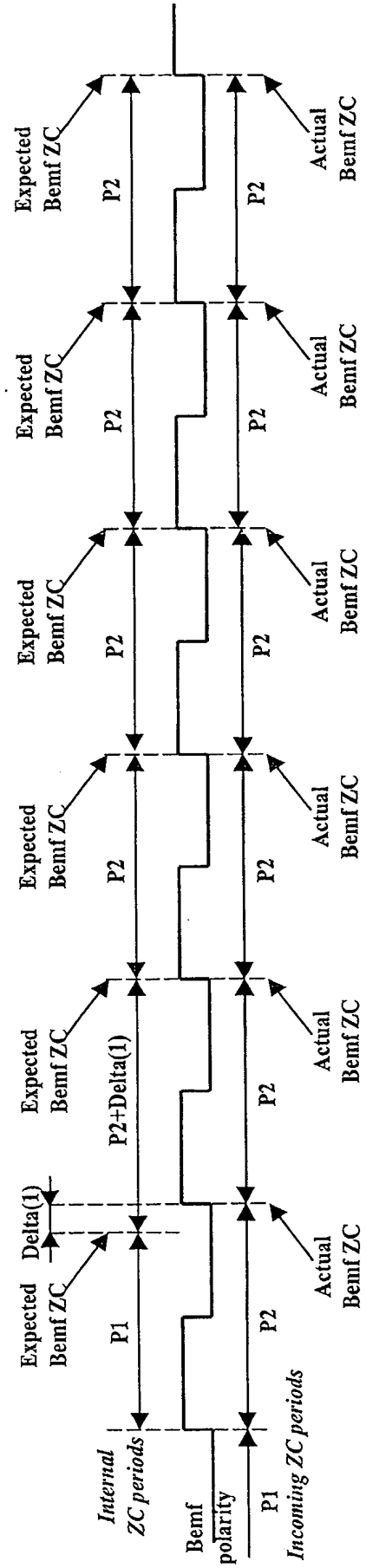
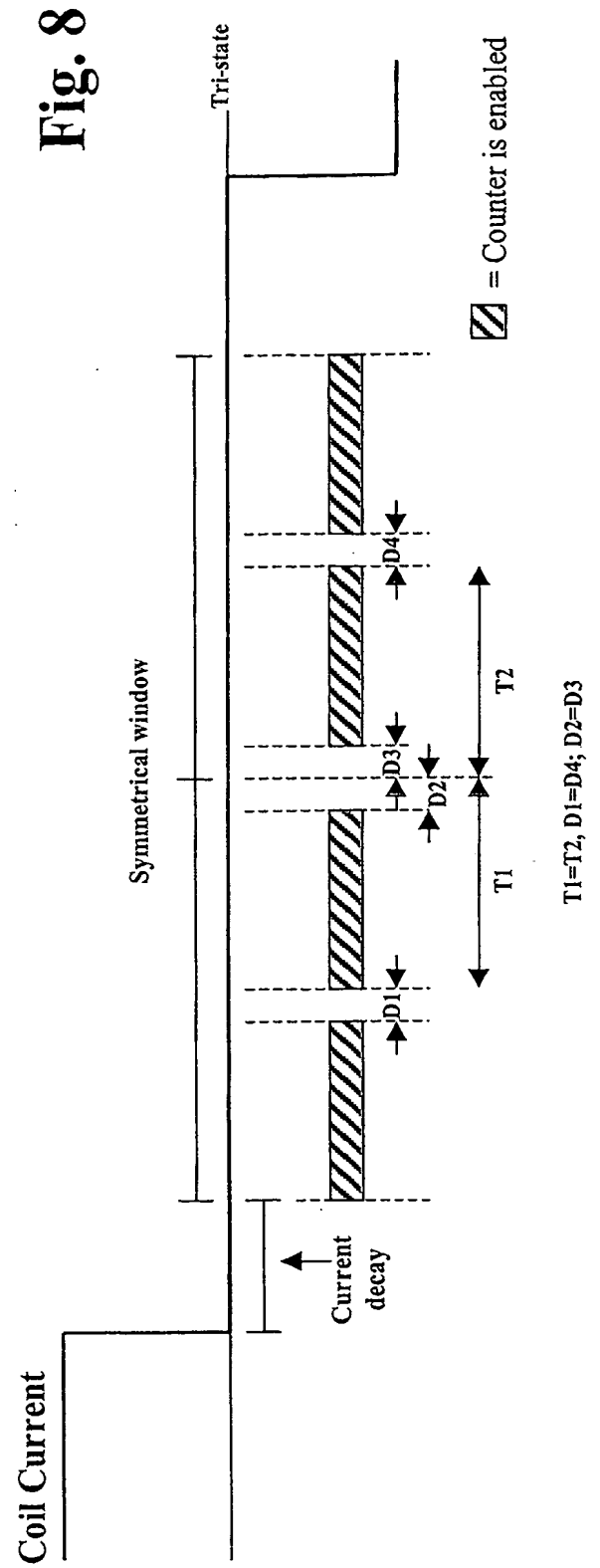
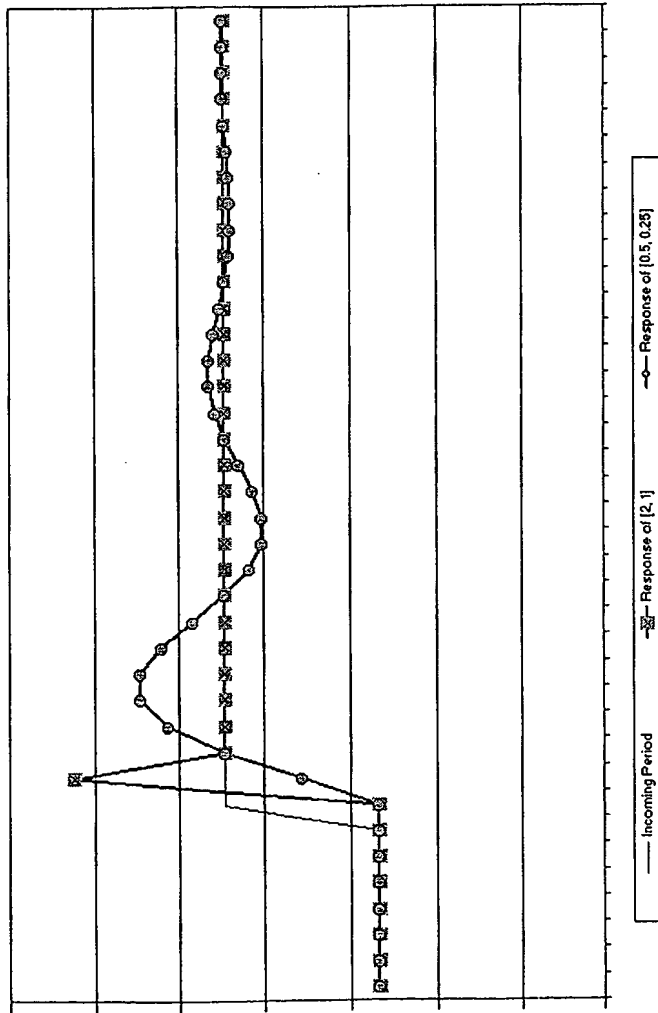


Fig. 6





THIS PAGE BLANK (USPTO)